

Ytfuktens inverkan på sockerbetans lagringsduglighet vid minusgrader

Frost tolerance of sugar beets under
different moisture conditions

Johan Skyggesson



Ytfuktens inverkan på sockerbetans lagringsduglighet vid minusgrader

Frost tolerance of sugar beets under different moisture conditions

Johan Skyggeson

Handledare: Sven-Erik Svensson, SLU, Institutionen för Biosystem och teknologi

Btr handledare: Joakim Ekelöf, Nordic Beet Research Foundation, Borgeby

Examinator: Helene Larsson Jönsson, SLU, Institutionen för Biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Examensarbete inom växtbiologi

Kurskod: EX0740

Program/utbildning: Lantmästare - kandidatprogram

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2016

Omslagsbild: Sockerbetor som utsatts för -5°C och lagrats i 144 daggrader, betorna till vänster är lagrade torra, betorna till höger är lagrade fuktiga.

Foto: Johan Skyggeson

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Sockerbetor, lagring, stuka, frost, fukt, vind, sugar beet, long-time storage, pile, moist, wind.



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi

FÖRORD

Lantmästare – kandidatprogram med inriktning växtbiologi är en treårig universitetsutbildning vilken omfattar 180 högskolepoäng (hp). En av de obligatoriska delarna i denna är att genomföra ett eget arbete som ska presenteras med en skriftlig rapport och ett seminarium. Detta arbete kan t.ex. ha formen av ett mindre försök som utvärderas eller en sammanställning av litteratur vilken analyseras. Arbetsinsatsen ska motsvara minst 10 veckors heltidsstudier (15 hp).

Då jag letat länge efter ett examensarbete som har en potential att bidra positivt till den agrara näringen kom jag i kontakt med Joakim Ekelöf på Nordic Beet Research Foundation (NBR). Joakim ansvarade för det framtida lagringsprojektet; ”630- Frost tolerance of sugar beets”, som skulle starta under 2016. Då ingen tidigare hade gjort en genomgripande studie kring hur frost och fukt samverkar vid lagringsförluster av sockerbetor fick mitt examensarbete bli en del av detta projekt.

Nordic sugar och Partnerskap Alnarp (PA-projekt 945) har bidragit med finansiella medel som gjort examensarbetet möjligt.

Ett varmt tack riktas till Joakim Ekelöf på Nordic Beet Research, för hans vilja att dela med sig av ovärderlig kunskap kring lagring av sockerbetor, samt för granskning och råd under arbetets gång.

Jag vill även tacka min handledare Sven-Erik Svensson för goda idéer och synpunkter under projekttidens gång.

Examinator har Helene Larsson Jönsson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi varit.

Alnarp, juni 2016

Johan Skyggeson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	3
ABSTRACT	5
INLEDNING	7
BAKGRUND/PROBLEMBESKRIVNING	7
SYFTE	8
MÅL	8
FRÅGESTÄLLNINGAR	8
AVGRÄNSNING	8
LITTERATURSTUDIE	9
SOCKERBETSLAGRING	9
LAGRINGSFÖRLUSTER I SOCKERBETOR	9
Åtgärder innan lagring	9
Så förlorar betan socker	11
Lagring i stuka	12
Sockerbetorna i ytskiktet av stukan	13
MATERIAL OCH METOD	15
Försöksupplägg	16
Analyser och statistik	16
TILLVÄGAGÅNGSSÄTT	17
Referensprover	17
Fuktig och torr behandling	17
Frysbehandlingar	17
Temperaturmätning i betan	18
Vindförsök	18
Slutförvaring	18
RESULTAT	19
Ytfuktens inverkan	19
Temperaturens inverkan	21
Lagringstiden påverkar	22
Kylhastighet	23
DISKUSSION	25
OLIKA FAKTORER	25
Betans ytfukt	25
Lagringsperioden	25
Vindens påverkan	26
INDIVIDUELLA SKILLNADER	26
RESULTATENS TILLFÖRLITLIGHET	28
FRAMTIDA STUDIER	28
SLUTSATSER	29
REFERENSER	30
SKRIFTLIGA	30
MUNTliga	31
INTERNET	31
PUBLICERINGSTILLSTÅND	32
BILAGA 1	33

SAMMANFATTNING

Sedan 2006 finns det endast ett sockerbruk kvar i Sverige, vilket har resulterat i förlängda lagringstider hos sockerbetsodlare. De sista betorna plockas i regel upp under andra hälften av november och kan komma att behöva lagras fram till slutet av januari. Det skånska vädret med plus- och minusgrader om vart annat i kombination med regn ställer höga krav på kunskapen om hur betor ska lagras för att minimera sockerförlusterna. Lagringen hos odlaren sker i stuka och denna placeras ofta direkt på åkern. Stukorna täcks efter rådande förutsättningar med olika typer av material, exempel på dessa är halm, plast och polypropylene fleece (Toptex®). Som kompensation för lagring utgår ett pristillägg vid avräkning. Detta pristillägg ska ersätta odlaren för de extra kostnader som uppstår genom arbete och material. Pristillägget är även tänkt att täcka den sockerförlust som är oundviklig.

Detta examensarbete utreder hur ytfukten i kombination med olika grader av frost påverkar sockerbetans lagringsduglighet. Praktiska lagringsförsök i fält genomförs regelbundet av olika organisationer. Däremot är omfattande försök som utförs under kontrollerade former i klimatkammare sällsynta. Det anses viktigt att kunna fastställa vid vilken temperatur betor skadas och vilken inverkan fukten har på sockerbetans lagringsduglighet. Därför beslutades att under 2015 genomföra ett försök med målet att kunna påvisa lagringsförluster kopplade till de väderfaktorer som är typiska för en skånsk vinter.

Under oktober och november månad 2015 genomfördes ett försök på SLU i Alnarp. I Alnarp hyrdes två klimatkammare i Biotronen för att kunna kontrollera förutsättningarna på ett exakt sätt. En av kamrarna användes för de olika behandlingarna där temperaturen justerades efter ett specificerat försöksschema. Den andra kammaren höll konstant +8°C där förvaring av betor skedde före och efter frostbehandling. Försöket syftade till att utreda ytfuktens påverkan på sockerbetan efter att den utsatts för minusgrader. Sockerbetorna samlades in från en stuka som dagen innan skördats på konventionellt sätt med betupptagare. Betorna kom att utsättas för olika temperaturer, med och utan fukt samt lagring efteråt i olika långa perioder. Behandlingstemperaturerna var +8°C, -1°C, -3°C och -5°C, lagringstiden var 18 dagar i samtliga omgångar. Sockerbetor som behandlades i -3°C lagrades även i 35 dagar för att kunna utreda den längre lagringstidens påverkan på sockerbetan. I samtliga omgångar behandlades fuktiga och torra betor samtidigt.

Resultaten visar en signifikant ökad sockerförlust hos de fuktiga betorna redan vid -1°C. Skillnaden ökar i de omgångar som behandlats i -3°C och -5°C. De betor som förvarades i +8°C visar ingen skillnad i ökad sockerförlust till följd av att de utsatts för fukt. När hänsyn endast tas till temperatur och faktorn fuktig respektive torr beta utesluts, kan ingen signifikant skillnad påvisas mellan +8°C och -1°C. Som väntat uppstod signifikanta skillnader mellan de andra försöksomgångarna med lägre temperaturer. Lagringstiden påverkade kraftigt sockerförlusten hos de betor som lagrades i 35 dagar jämfört med 18 dagar. Den längre lagringsperioden ökade sockerförlusterna med 22 % -enheter efter behandling i -3°C.

Den tid det tar att kyla sockerbetor ned till $-1,5^{\circ}\text{C}$ skiljer sig inte mycket om de utsätts för en lufttemperatur på -3°C respektive -5°C . Däremot skiljer det mycket om de ska kylas ned till $-2,5^{\circ}\text{C}$. Ingen skillnad syntes i fryshastighet mellan torra och fuktiga betor i försöket. I den omgång där fryshastigheten mättes i -3°C i kombination med vind (10 m/s) sjönk temperaturen i sockerbetan nästan dubbelt så fort.

I examensarbetet kan följande slutsatser konstateras till följd av försöksresultat och litteraturstudie.

- Ytfukten på betan har en signifikant inverkan på sockerförlusten vid minusgrader. Försöket visar att fuktiga betor som utsatts för frost förlorar betydligt mer socker jämfört med torra betor.
- Lagringstiden påverkar sockerförlusten signifikant.
- Vinden ger en dubbel fryseffekt.
- Stora individuella skillnader mellan sockerbetor som fått samma behandling har kunnat konstateras.
- Resultaten förklarar de studier som tidigare visat att Toptex[®] minskar lagringsförlusterna. Skillnaden är inte i första hand frotskydd utan dess förmåga att hålla ute fukt och tillåta stukan att andas.
- Det är ytterst viktigt att behandla betorna försiktigt för att undvika skador vid upptagning, lagring och leverans. Alla skador ökar sockerförlusten.

ABSTRACT

Since 2006, there is only one sugar beet factory in Sweden. This has resulted in extended storage periods of sugar beets. The last beets are normally harvested in the second half of November and may need to be stored in to the middle of January. The Swedish weather with plus and minus degrees alternately in combination with rain put high demands on the knowledge of how to store sugar beets with minimal losses. At the farms the beets are usually stored in piles before they are delivered to the factory. The piles are covered after prevailing conditions with different types of materials, examples of these are straw, plastic and polypropylene fleece (Toptex[®]). As compensation for long-time storage the grower gets an additional payment. This additional payment is meant to recompense the grower for the additional costs incurred by labor and materials. The payment is also intended to cover the sugar losses that are unescapable as a result of longer storage period.

This paper discusses how the surface moisture in combination with different levels of frost affect the storability of sugar beets. Practical storage experiments in the field are conducted regularly by different organisations. However, extensive tests conducted under controlled conditions in climate chambers are uncommon. It is important to determine at what temperature sugar beets are damaged, and at what level the surface moisture impact beet storage stability. Therefore, it was decided in 2015 to conduct a trial with the objective to demonstrate storage losses related to weather factors typical for a Swedish winter.

During the fall of 2015 a trial was carried out at SLU in Alnarp. Two climate chambers in the Biotron were rented to control conditions in an exact manner. One of the chambers was used for the different treatments where the temperature was adjusted after the batch that was treated. The second chamber kept constant +8 °C, this chamber was used as storage of the sugar beets before and after frost treatment. The trial aimed to investigate the surface moisture impact on sugar beets after exposure to freezing temperatures. The sugar beets were collected from a pile harvested the day before. The beets were to be exposed to different temperatures, with and without moisture and storage afterwards in different periods. Treatment temperatures were +8 °C, -1 °C, -3 °C, -5 °C and the stored time was 18 days in all batches. Sugar beets treated at -3 °C were also stored for 35 days to investigate how the longer storage period affected the sugar losses. All batches treated moist and dry beet at the same time.

The moist sugar beets show a significant increased sugar loss already at -1 °C. The difference then becomes larger in the batches treated in -3 °C and -5 °C. The beets that were kept in +8 °C during 18 days showed no difference in sugar loss as a result of being exposed to moisture. When only temperature is taking into account and the factor moist/dry excluded, no significant difference was found between +8 °C and -1 °C. As expected, there were differences between the other temperatures. The storage time significantly affected sugar loss of the beet. The longer storage period increased sugar losses by 22% after treatment of -3 °C.

The time it takes to freeze the sugar beet down to $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ is not much different if exposed to an air temperature of $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ or $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. However, it differs considerably if they are to be cooled down to $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. No difference was seen in freezing rate between dry and moist beets in the trial. The batch in which the freezing rate was measured at $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ in combination with wind (10 m/s), the temperature dropped into the sugar beet almost twice as fast.

In the thesis the following conclusions appear as a result of research results and literature.

- Surface moisture on the sugar beet has a significant impact on the loss of sugar. The experiment shows that moist beet damaged by frost loose significantly more sugar than dry beets damaged by frost.
- The storage time affects the sugar loss significantly.
- The wind gives a double freezing effect.
- Large individual differences between beets that received the same treatment has been established.
- The results explain the studies previously demonstrated that Toptex[®] reduce storage losses. The difference is not primarily antifreeze but its ability to keep out moisture and allow the pile breathing.
- It is extremely important to treat the beets gently to avoid damage while harvesting and during storage and delivery. All damage increases the sugar loss.

INLEDNING

Bakgrund/Problembeskrivning

I Sverige odlas idag ca 35 000 hektar (ha) sockerbetor och odlingen är till största del lokaliserad i Skåne. Då endast ett sockerbruk finns kvar i Sverige har det resulterat i långa lagringsperioder hos sockerbetsodlare. En svensk betkampanj (den period på året då sockerbetorna levereras till sockerbruket) varar normalt sett från mitten av september till mitten av januari. Den första tiden plockas betor upp i samma takt som sockerbruket kan processa dem. På grund av frostrisk tas i stort sett alla kvarvarande betor upp i slutet av november och lagras i stuka. Skörd i november kan innebära lagring av betor i närmare två månader. Betorna kan tidigt komma att utsättas för frost vilket medför stora ekonomiska konsekvenser för odlaren om stukan inte hanteras korrekt. Vid leverans innehållande tre procent frostskaade betor uppstår prisavdrag och vid 10 procent frostskaade är de inte längre leveransdugliga. Lagringen sker i stukor som efter behov täcks av olika slags material för att skydda betorna mot vådrets påverkan. Odlaren ansvarar för betorna fram till leveransdagen. Det kan röra sig om stora mängder betor som behöver lagras. En betodling på t.ex. 30 ha och 75 ton i skörd per hektar ger en total skörd på 2 100 ton. I värsta fall skulle sockerbetorna behöva lagras i två månader med ständig risk för frost. Senarelagd leverans regleras med pristillägg. Detta ska täcka de lagringsförluster som är oundvikliga, samt ersätta sockerbetodlarens kostnader för material och arbete.

I händelse av frost ställer man sig ofta frågan hur lång tid det tar innan betorna lider skada. Så länge betorna är frusna kan de levereras utan några negativa konsekvenser. Ofta börjar problemen synas i fabriken redan ett par dagar efter upptining. Betorna är då inte längre leveransdugliga eftersom de inte går att processa (Christiansson 2016).

Året 2012 bjöd på dåliga lagringsförutsättningar för sockerbetsodlarna. Temperaturen var så låg som -18°C i mitten av december och orsakade omfattande ekonomiska förluster såväl för odlare som för Örtofta sockerbruk. Totalt sett varade kylan i två veckor med konstant frost. Under åtta nätter sjönk temperaturen under -10°C , två veckor följde med temperaturer kring $+2^{\circ}\text{C}$. Den 24 december till 9 januari pendlade temperaturen mellan $+5^{\circ}\text{C}$ och $+8^{\circ}\text{C}$ i kombination med regn. Under lagringssäsongen utfördes ett försök i NBR:s regi som påvisade att olika lagringsmetoder och täckningsmaterial har en avgörande betydelse vid denna typ av väderlek (Olsson 2014). En felaktig hantering av stukan under dessa förhållanden ger ofta stora ekonomiska bortfall.

Med detta som bakgrund går det att konstatera att det saknas kunskap om hur frost i kombination med fukt påverkar sockerbetan. Denna kunskapslucka behöver fyllas i och därför är det viktigt att gå vidare i studierna gällande frost och fukt.

Syfte

Genom att påvisa skillnader i lagringsförluster kopplade till frost och fukt ska den enskilda lantbrukarens medvetenhet öka kring långtidslagringens problematik. Kunskapen skall även öka odlarens möjlighet till att välja en korrekt lagringsmetod utifrån rådande förutsättningar. Syftet är alltså att bidra till minskade lagringsförluster genom ökad kunskap.

Mål

Målet med examensarbetet är att under kontrollerade betingelser i klimatkammare studera vad som händer i ytlagret av en betstuka vid minusgrader, fukt och blåst. Tidigare studier inom NBR har visat på att ett tunt lager av polypropylene fleece (Toptex®) på stukan har en god inverkan på ventilationen och samtidigt en förmåga att hålla ute fukten. Jag avser att kunna påvisa skillnader i lagringsförluster med en direkt koppling till det väder som är typiskt för en skånsk vinter.

Frågeställningar

Följande frågeställningar skall besvaras:

- Finns det någon interaktion mellan betans ytfukt och dess frostkänslighet?
- Hur påverkar olika grader av frost betans lagringsduglighet?
- Hur lång tid tar det innan sockerbetor fryser vid olika lufttemperaturer?
- Hur påverkas frys-hastigheten om kylan kombineras med vind?

Avgränsning

Arbetet är begränsat till studier i klimatkammare (Biotronen, SLU Alnarp) och avser inga praktiska fältförsök. Jag avser inte att jämföra och utvärdera olika lagringskoncept vad gäller de olika täckningsmaterial som finns på marknaden sett till deras för- och nackdelar. Examensarbetet löper under lagringssäsongen 2015/2016 men projektet kommer därefter att drivas vidare i NBR:s regi.

LITTERATURSTUDIE

Sockerbetslagring

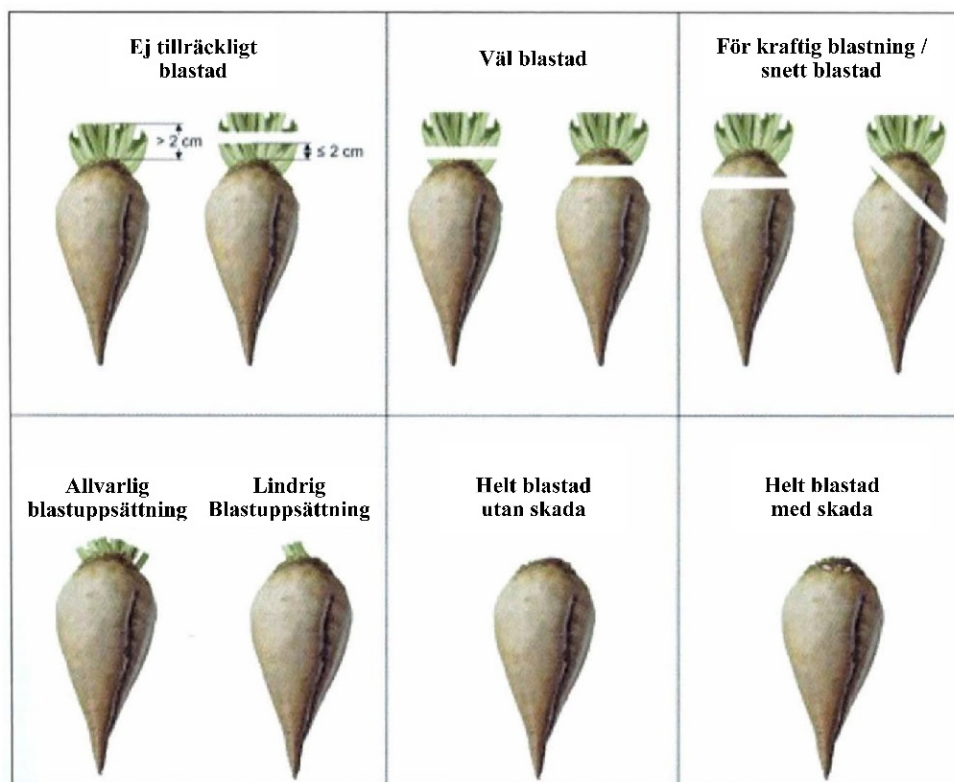
Lagring av sockerbetor i stuka är ett mödosamt arbete som medför stora ekonomiska risker. Utmaningen ligger i att kunna begränsa sockerförlusterna och att se till att samtliga betor som skördats går att leverera till sockerbruket. Behovet av att skydda betor från yttre och inre påverkan så som fukt, frost och värme under lagring i stuka skiljer sig från land till land i Europa. Norden utmärker sig på grund av en större risk för frost än i övriga Europa. Efter reformen på sockermarknaden 2006 lades många europeiska sockerbruk ned. Det bidrog till att det idag endast finns ett sockerbruk kvar i Sverige: Örtofta i Skåne. Eftersom betan inte tål frost måste den plockas upp innan frosten kommer och förvaras i stuka som skydd mot kylan. Frosten kommer oftast i mitten av november och de senaste åren har vi sett att sockerbetorna kan behöva lagras fram till slutet på januari innan de får levereras, alltså dryga två månader efter skörd. Denna tid förväntas öka när sockerkvoterna avregleras 2017 (Olsson 2014). Den ökade lagringsperioden kräver att sockerbetorna lagras under goda förhållanden hos lantbrukaren. Eftersom Skåne har fuktiga vintrar med inslag av frost ställer det höga krav på kunskapen om hur fukt och temperatur påverkar sockerbetan. Förluster under lagring kan bero på tre saker. 1) En minskad mängd socker i betan på grund av respiration eller bakteriell sockerkonsumtion. 2) Betor som sorterats bort innan leverans till sockerbruket. 3) Lägre vikt till följd av förbränt socker, förlorat vatten samt ruttet betmaterial som spolats bort i provtvätten (Olsson 2009).

Lagringsförluster i sockerbetor

Åtgärder innan lagring

Att skörda under rätt förhållande har stor inverkan på sockerbetans lagringsduglighet. Ett alternativ för att begränsa lagringsförlusterna är att plocka upp betorna så sent som möjligt. Detta reducerar sockerförlusten eftersom betan sällan förbrukar en betydande mängd socker under perioden den står i jorden. Nackdelen med denna metod är dock att risken för betspill i fält ökar genom bland annat rotspetsbrott till följd av dåliga skördeförhållanden (Rydén 2008). Det är väl känt att det vid skörd under dåliga förhållanden följer med mycket jord in i stukan. På grund av att jorden minskar ventilationsförmågan i stukan har betorna svårt att torka upp, det ökar lagringsförlusterna till följd av en fuktigare lagring och dessutom är en minskad renhet att vänta vid bruket. All hantering som skadar betan gör att lagringsförlusterna ökar. Blastningsgraden på betan har också en stor inverkan på dess sockerförlust. Om en allt för aggressiv blastning utförs blottas en stor yta där en ökad respiration uppstår. Det skapar även en inkörsport för patogener som kan angripa den annars friska betan (Legrand et al. 2013). En väl blastad sockerbeta ska vara snittade vid lägsta bladstrimman, se figur 1. Lägre snittade samt kvarhängande blast ökar sockerförlusten markant (Steensen & Augustinussen 2003).

Den perfekt skördade betan är ren, utan blast med minimal snittyta och utan mekaniska skador. Generellt sett lönar det sig att skörda någon vecka tidigare på grund av bättre skördeförhållanden. Detta reducerar markpackning, ger en högre renhet, minskar spill och minskar samtidigt de mekaniska skadorna till följd av en aggressiv upptagning (Huijbregts et al. 2013). NBR utförde under 2006-2008 en försöksserie kring hur upptagningen påverkade sockerförlusten vid olika lagringsförutsättningar. Sockerförlusten mellan skonsamt upptagna betor och normalt upptagna betor var 2 respektive 2,5 gånger högre i respektive temperatur, se tabell 1 (Olsson 2008).



Figur 1. Bilden illustrerar olika grader av blastning, (IIRB standard storage working group).

Tabell 1. I försök utfört av NBR jämfördes hur upptagningen påverkar sockerförlusten vid lagring. Resultatet är ett genomsnitt på nio platser under åren 2006-2008. Lagringstiderna varierade från 61-70 dagar och de lagrades i +5°C respektive +15°C under denna tid, data från Olsson (2008)

Led	Sockerförlust per dygn (%)	
	+5°C	+15°C
Handupptagning (ref.)	0,029	0,034
Skonsam maskinell upptagning	0,071	0,136
Normal maskinell upptagning	0,156	0,332

Även Sockernäringsens Betodlingsutveckling (SBU) kom i ett försök fram till att det finns en signifikant skillnad i sockerförluster vid intensivare rensning i betupptagaren. I försöket påvisades även att andelen grodda och svampangripna betor var betydligt större i det led som skördats med intensivare rensning. Det blev även betydligt större värmegång i den del av stukan där betorna från den hårda rensningen förvarades (Ingelsson 2002), se tabell 2.

Tabell 2. I försöket "Rensningsgradens påverkan på lagringsförlusterna vid långtidslagring 2002" utfört av SBU lagrades sockerbetor i 50 dygn för att undersöka lagringsförlusterna till följd av skonsam och hård rensning i betupptagaren, data från Ingelsson (2002)

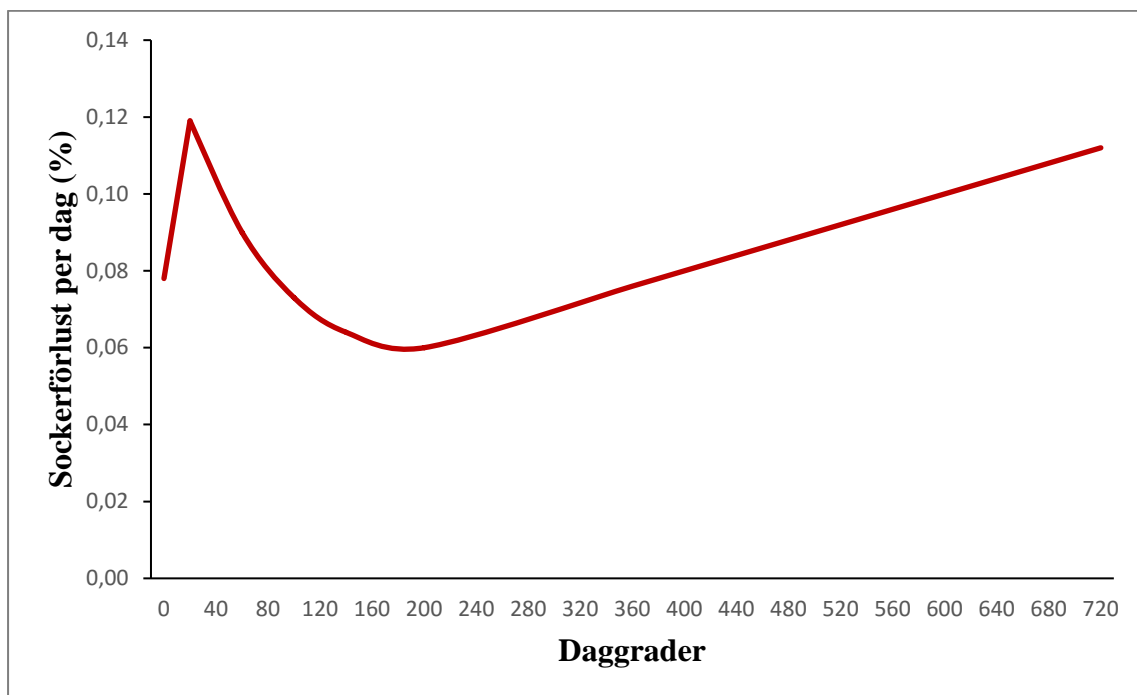
Led	Sockerförlust per dygn (%)	Grodde betor (%)	Värmeskadade betor (%)	Svampangrepp (%)			
				Friska	Svagt angripna	Måttligt angripna	Starkt angripna
Skonsam rensning	0,14	27,6	16,9	32,4	66,3	1,1	0,2
Hård rensning	0,19	45,5	56,8	9,0	57,2	30,6	3,3

Så förlorar betan socker

Respirationen hos sockerbetor är en naturlig process för betans överlevnad. Under ideala lagringsförhållanden står betans respiration för 70-80 % av sockerförlusten (Wyse 1973). Under verkliga lagringsförhållande sjunker denna siffra bland annat till följd av bakterie- och kolhydratomvandling (Wyse and Dexter 1971). Om sockerbetan inte utsätts för frost fortsätter cellandningen för att betan skall kunna bibehålla sin metabolism, vilket gör att den läker sårn från upptagning och skyddar sig mot patogener. Vid cellandningen spjälkas betans sackaros ned till glukos och fruktos. I processen bildas också koldioxid och vatten. Detta leder till att mängden utvinnbart socker minskar. Betans lagringsförluster beror till stor del av genetiska faktorer och det är därför skillnader i sorter har kunnat säkerställas (Draycott 2006). På grund av mekaniska skador och den temperaturskillnad som uppstår vid upptagning är respirationen och därmed också sockerförlusten störst dagarna efter upptagning. Sockerförlusten avtar efterhand som betan acklimatiserar sig och läker sårn efter upptagningen (Ibrahim et al. 2001). Efter 200-300 daggrader tilltar sockerförlusten igen till följd av att patogener angriper betan, se figur 2.

Studier har visat på den stora effekt lagringstemperaturen har på betans sockerförlust. Det finns således ett tydligt samband mellan sockerförlusten och antalet daggrader en beta utsätts för. Det är alltså inte lagringsperiodens längd som avgör förlusterna utan antalet daggrader (Olsson 2011).

I Sverige är det framför allt tre typer av rötter som orsakar en minskad sockerhalt i betan. Om röta bildas till följd av *Rhizoctonia solani* och *Fusarium culmorum* går betan inte att långtidslagra eftersom den blir blöt vid förruttnelsen. Om betan istället angrips av *Aphanomyces cochliformis* går den däremot att lagra en kortare period eftersom den inte reagerar på samma sätt. Bakterier är av stor betydelse under lagringen, även om så inte är fallet under växtsäsongen. Om betorna skadas genom till exempel frost eller tuff upptagning tar tillväxten av bakterier fart. När bakterietillväxten tar fart ökar halten av invertsocker till följd av att sackaros bryts ned till glukos och fruktos (Augustinussen & Smed 1990). I grund och botten har betan en immunitet mot bakterier men till följd av yttre skador vid upptagningen reduceras denna kraftigt.



Figur 2. Diagrammet visar procentuell sockerförlust per dag i förhållande till antalet daggrader. Data från Huijbregts (2009).

Lagring i stuka

Tidigare försök har behandlat olika typer av täckningsmaterial och metoder för att reducera sockerförluster. Ofta används halm och plast som skydd mot kyla och fukt. De senaste åren har täckning med Toptex® blivit en vanligare metod för att skydda stukan (Ekelöf 2016). Det beror på att detta täckningsmaterial gör att stukan ventileras och samtidigt endast släpper in en begränsad mängd vatten.

Det idealiska materialet för att täcka en stuka ska ha funktionen av att andas så att det inte uppstår värmebildning inne i stukan. Det ska även hindra frost och regn som försämrar lagringsförutsättningarna i stukan (Jaggard et al. 1997). Materialet ska samtidigt inte hindra avdunstningen av fukt från stukan. Stukan rekommenderas att ligga otäckt i 3-5 dagar efter stukläggning för att betorna ska torka upp. Vinden gör att fukten inne i stukan minskar och lägre lagringsförluster samt högre renhet är att vänta. Plockas betorna upp i samband med regn eller risk för regn gäller det däremot att täcka betorna i stukan så fort som möjligt.

För att få regnvattnet att rinna av stukan är det viktigt att den har formen som ett A och att rasvinkeln är tillfredställande. Detta är dock svårt att åstadkomma om betorna lagras i en stuka som stöts upp av fyrkantsbalar. Fördelen med att använda balar som stöd för stukan är att ytan som utsätts för frost och fukt reduceras och därmed minskar risken för frostsador. På grund av den minskade ventilationen i stukan till följd av halmbalarna rekommenderas en lagringshöjd på max 2,2 meter för att undvika värmegång i stukan (Ebelin 2000). Om det väntas växlande varmt och kallt väder går det med fördel att placera storbalarna på pallar för att få en ökad ventilation i stukan. För att blockera ventilationen effektivt då frostrisk förekommer kan småbalar placeras utanför de stora balarna (Olsson 2010).

Eftersom Sverige har ett varierande klimat på vintern krävs en avvägning av hur stor stukan ska vara samt hur den ska skyddas. Med anledning av att renslastare används i större omfattning begränsas stukans bredd till max åtta meter. Det leder till att det numera är mindre problem med värmebildning i stukan även om högre stukor läggs (Huijbregts et al. 2013).

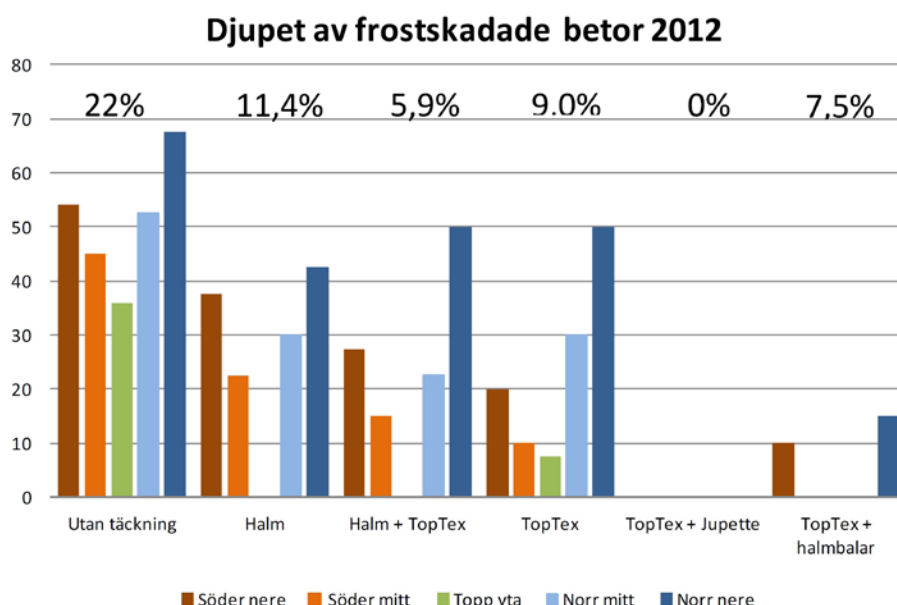
Sockerbetan har i sig själv ett frotskydd som gör att den tål enstaka minusgrader och frotskyddet skapas genom att betans höga halt av socker sänker fryspunkten. Frostsador ska uppstå först när temperaturen närmar sig -2°C (Draycott 2006). Det är först när sockerbetan tinar upp som den börjar förbruka socker (sackaros). Det gör att halten av invertsocker (glukos & fruktos) i betan ökar och detta socker går inte att utvinna på sockerbruket. För att betan ska kunna processas på sockerbruket krävs att halten av invertsocker inte överstiger 25 mmol per gram socker (Maarten 2016). Halten av invertsocker ligger vid upptagning av sockerbetor på omkring 1 mmol per gram socker eller strax under. Denna mängd femdubblas ofta under lagring (Jaggard et al. 1997). Bildandet av invertsocker är som lägst i friska sockerbetor när de förvaras mellan $+5^{\circ}\text{C}$ och -1°C (Pavlinova et al. 1979). Om temperaturen överstiger $+10^{\circ}\text{C}$ ökar processen markant. Tidigare försök har också visat att sockerbetor som utsätts för en temperatur på -5°C i 24 timmar skadas kraftigt. Skadorna och sockerförlusten gick att påvisa direkt efter upptining. När sedan betorna lagrades i $+8^{\circ}\text{C}$ fann man även att andningsförlusterna ökade och att invertsocker bildades i sockerbetan (Augustinussen & Smed 1990).

Sockerbetorna i ytskiktet av stukan

De sockerbetor som ligger i det yttre skiktet av stukan är mer utsatta för vädrets påverkan. Det är anledningen till att man en del år måste kassera betstukans ytlager eftersom de sockerbetorna inte är leverasdugliga. Detta betonar vikten av att anpassa lagringen efter rådande väderförhållanden. Tidigare försök har visat att sockerförluster påverkas av hur fuktiga betorna är vid lagring. Detta konstaterades i NBR:s försök "*Mer betor och mer socker till bruket*" som genomfördes under 2010-2011. I försöket tillsattes vatten under lagringsperioden. Resultaten av studien visade 2,4 % högre sockerförlust i de betor som lagrats under fuktiga förhållanden (Olsson 2011). Försöket utfördes i $+11^{\circ}\text{C}$ och under 64 dagar.

En studie från Nederländerna har visat en genomsnittlig minskning av sockerförluster på 1 % -enhet per månad vid användningen av Toptex® (Huijbregts 2008). NBR gjorde under 2011-2013 ett försök där olika täckningsmaterial utvärderades. Studien visar att Toptex® är ett bra täckningsmaterial. Det konstaterades dock att det är nödvändigt att komplettera med plast för att skydda stukans ytlager mot frost (Olsson 2014), se figur 3. Under försöket 2012 inträffade kraftig frost under 14 dagar i början av december. I tabell 3 syns de olika täckningsmaterialens effekt och vilka delar av stukan som fick skalas bort. I början av perioden kom 2 dm snö vilket bidrog till ett effektivt frostskydd som påverkar resultatet kraftigt. Temperaturen vände vid -18°C.

När sockerbetorna lagras i stuka hos odlare betraktas 0,15 % i sockerförlust per dygn vara en acceptabel nivå. Om lagringen ska ligga på en god nivå krävs det att sockerförlusten inte överstiger 0,10 % per dygn. Försök har visat att lagringsförluster ner mot 0,05 % är uppnåbara, dock är detta under optimala betingelser (Olsson 2014).



Figur 3. Diagrammet anger den mängd av stukan (%) som behövde skalas bort på grund av att sockerbetorna inte var leveransdugliga. På Y-axeln anges det djup i centimeter som behövde skalas bort (Olsson 2014).

Tabell 3. Tabellen visar att det förekommer stora skillnader i sockerförluster beroende på var i stukan betorna lagrats. De röda rutorna utan siffror är bortskalade betor från stukan. Sockerhaltens ingångsvärde var 17,5-17,7 % (Olsson 2014)

Led	Täckning	Söder nere	Söder mitt	Topp yta	Topp grunt	Topp djupt	Norrr mitt	Norrr nere	Norrr nere 25 cm in
Medel				16,56	17,01	17,11			
0	Otäckt	-	-	16,13	16,79	16,71	-	-	-
1	Halm	-	-	16,72	16,99	17,11	-	-	-
2	Halm+Toptex	-	17,25	16,94	16,96	17,01	15,75	-	-
3	TopTex	-	17,49	16,90	17,20	17,20	14,78	-	14,94
4	TopTex+Jupette	17,26	17,47	16,62	17,03	17,47	16,52	16,63	16,89
5	TopTex+balar	-	17,11	16,08	17,08	17,13	15,64	-	15,64
	LSD 5%			ns	0,20	0,30			

under 16,5

16,5-16,9

16,9-17,2

över 17,2

MATERIAL OCH METOD

Försöket genomfördes under oktober och november månad 2015 på SLU i Alnarp. Två klimatkammare i Biotronen användes för att kunna reglera temperatur, fuktighet och vind på ett så kontrollerat sätt som möjligt. En av kamrarna användes till förvaring före och efter frostbehandling. Förvaringskammaren höll $+8^{\circ}\text{C}$ under hela försöksperioden. Den andra kammaren användes för de behandlingar som betorna skulle utsättas för. I denna var inte temperaturen konstant utan justerades beroende på vilket försöksled som behandlades. Betorna som användes i försöket var av sorten Sabatina KWS och odlades konventionellt på Vragerups gård utanför Lomma i Skåne län. Fältet behandlades efter normala odlaranvisningar under året (Ekelöf 2016).

Betorna skördades med en självgående betupptagare av märket Holmer och mellanlagrades ett dygn i stuka innan betproverna samlades in, se figur 4. Proverna bestod av 60 lådor med vardera 20 betor. Betorna plockades på ett och samma ställe i stukan för att få betor som växt på en begränsad del av fältet. De valdes ut en och en för att få så lika betor som möjligt. Fokus lades på medelstorlek, små rotspetsbrott och normal blastningsgrad. Vidhäftande jord gnedes bort från betan. Vid ankomst till Biotronen i Alnarp vägdes lådorna med kalibrerad våg. De registrerades elektroniskt med varsin tagg för att underlätta hantering vid Agri provtvätt på Örtofta sockerbruk. Lådorna rullades sedan in i förvaringskammaren som höll $+8^{\circ}\text{C}$. Där fick de stå i tre dygn för att alla betorna skulle stabilisera sig på denna temperatur innan första försöksomgången startades.



Figur 4. Insamling av betprover till försöket. Betorna valdes ut med hänsyn tagen till medelstorlek, små rotspetsbrott och normal blastningsgrad. Foto: Johan Skyggeson.

Försöksupplägg

Försöket lades upp som ett randomiserat blockförsök med fyra upprepningar där placeringen i klimatkammaren utgör blocken. I tabell 4 nedan beskrivs de ingående leden och dess behandlingar. Inför första och sista försöksomgången sändes 6 lådor som referens till laboratorium för att fastställa ingående sockerhalt.

Tabell 4. Sammanställning av de olika försöksomgångarna, antalet daggrader utgår från 0°C

Led	Omgång	Antal lådor	Behandling	Torr/Fuktig	Vind	Daggrader efter behandling
-	Ref 1	6	-	-	-	-
-	Ref 2	6	-	-	-	-
1	1A	4	-3°C	Fuktig	-	144
2	1A	4	-3°C	Torr	-	144
3	1B	4	-3°C	Fuktig	-	280
4	1B	4	-3°C	Torr	-	280
5	1C	4	+8°C	Fuktig	-	144
6	1C	4	+8°C	Torr	-	144
7	2	4	-1°C	Fuktig	-	144
8	2	4	-1°C	Torr	-	144
9	3	4	-5°C	Fuktig	-	144
10	3	4	-5°C	Torr	-	144
11	4	4	-3°C	Torr	10 m/s	144

Analys och statistik

För loggning av temperaturer användes mjukvaran Hoboware ihop med loggrar av typen Hobo Pro v2. Dessa har en noggrannhet på $\pm 0,21^\circ\text{C}$ (Onset 2016). Kamrarna som försöken utfördes i har en noggrannhet på $\pm 0,1^\circ\text{C}$ (Nilsson 2016) och höll under försöksperioden en luftfuktighet på 95 %. Samtliga betprover levererades till Agri provtvätt på Örtofta. De vägdes innan och efter tvätt. Analysen gav svar på innehållet av polsocker, blåtal, kalium, natrium, invertsocker och ts-halt. Statistiken grundar sig på analysrapporter från Agri provtvätt och har arbetats fram tillsammans med Joakim Ekelöf, NBR. Anova i kombination med Tukey's metod användes för analysering av data med hjälp av verktyget SAS 9.2, med signifikansnivå 5 %.

Tillvägagångssätt

Referensprover

För att kunna korrigera förändring under tiden som försöket fortlöpte krävdes det två referenser (ref 1 & ref 2). Den första omgången referenser skickades till laboratorium samma dag som första provomgången började frysas ner. Den andra omgången referenser skickades samma dag som den sista provomgången började frysas ner. Denna metod gör det möjligt att räkna ut startvärden för alla provomgångarna och därigenom påverkar inte den aktuella startdagen de olika provomgångarnas resultat.

Fuktig och torr behandling

De betor som skulle vara fuktiga i provomgångarna sprejades med vatten för att efterlikna regn, se figur 5. Samtliga betor förvarades torra till den dag då de skulle behandlas. Alla lådor innehållande fuktiga betor förslöts med platsäckar för att säkerställa en hög luftfuktighet. Ingen åtgärd vidtogs med de betor som skulle vara torra.

Frysbehandlingar

Omgång 1C fick ingen frysbehandling utan förvarades ihop med övriga betor i förvaringskammaren. För att övriga omgångar (omgång 1A, 1B, 2, 3 & 4) skulle frysa så jämnt som möjligt plockades de upp ur lådorna och lades på gallervagnar, se figur 6. De som skulle vara fuktiga sprejades med vatten för att efterlikna regn och de som skulle vara torra lades upp på gallret utan någon åtgärd. Vagnarna märktes upp med respektive lådas nummer för att kunna lägga tillbaka proven i rätt låda efter avslutad behandling. På två av vagnarna placerades väderloggrar som registrerade lufttemperatur och luftfuktighet för att kunna försäkra sig om kammarens funktion. Efter avslutad behandling sprejades de fuktiga betorna ytterligare en gång och lådorna förslöts med platsäckar.



Figur 5. De betor som skulle vara fuktiga under försöket sprejades med vatten innan och efter behandling. Foto: Johan Skyggeson.



Figur 6. För att betorna skulle frysa så jämnt som möjligt lades betorna på gallervagnar under behandlingen. Foto: Johan Skyggeson.

Temperaturmätning i betan

Vid varje behandling användes fyra extra betor för att kontrollera nedfrysningens hastighet. Det borrades två hål i vardera av dessa fyra betor, ett ytligt hål och ett hål in till mitten av betan. I varje hål placerades en temperaturlogger för att registrera frysningsprocessen, se figur 7. För att förhindra att luft kom ner mot kontaktytan på mätaren borrades det så små hål som möjligt och modellerna pressades ner vid sladden för att sluta tätt. Två av betorna sprejades med vatten och två fick förbli torra för att samma förutsättningar som i försöket skulle gälla. De placerades bland de andra betorna på gallervagnarna som rullades in i minusgrader för frysning. Under tiden som frysningen pågick lästes temperaturen av med dator för att kunna flytta över betorna till förvaringskammaren när de var färdigfrysna. Betorna rullades ut ur kammaren och de som varit torra packades ner i sina lådor igen. Dessa lådor med lock ställdes på varandra i förvaringskammaren. De betor som varit fuktiga under frysningen sprejades ytterligare en gång innan de lades ned i sina respektive lådor. För att säkerställa att fukten bevarades i dessa lådor under resterande lagringsperiod kläddes överdelen in med plastsäckar.



Figur 7. Montering av temperaturloggrar i sockerbeta. Foto: Johan Skyggeson.

Vindförsök

För att undersöka om en sockerbeta fryser fortare när den utsätts för vind, och i så fall hur mycket fortare, lades även en vindfaktor till i en av omgångarna (omgång 4). Med hjälp av en kompressor blåstes luft på betorna i en uppmätt hastighet på 10 m/s. För att fastställa vindhastigheten användes en Testoterm Testo 452 vindmätare. Luften blåstes in i kammaren genom två slangar vars utlopp placerades 1,5 m från betorna. För att få alla betorna utsatta för vind blåstes den snett uppfifrån. På grund av kompressorluftens lägre luftfuktighet och kammarens avfuktare gick inte de fuktiga betorna att utsätta för vind eftersom de i så fall hade torkat innan de börjat frysa.

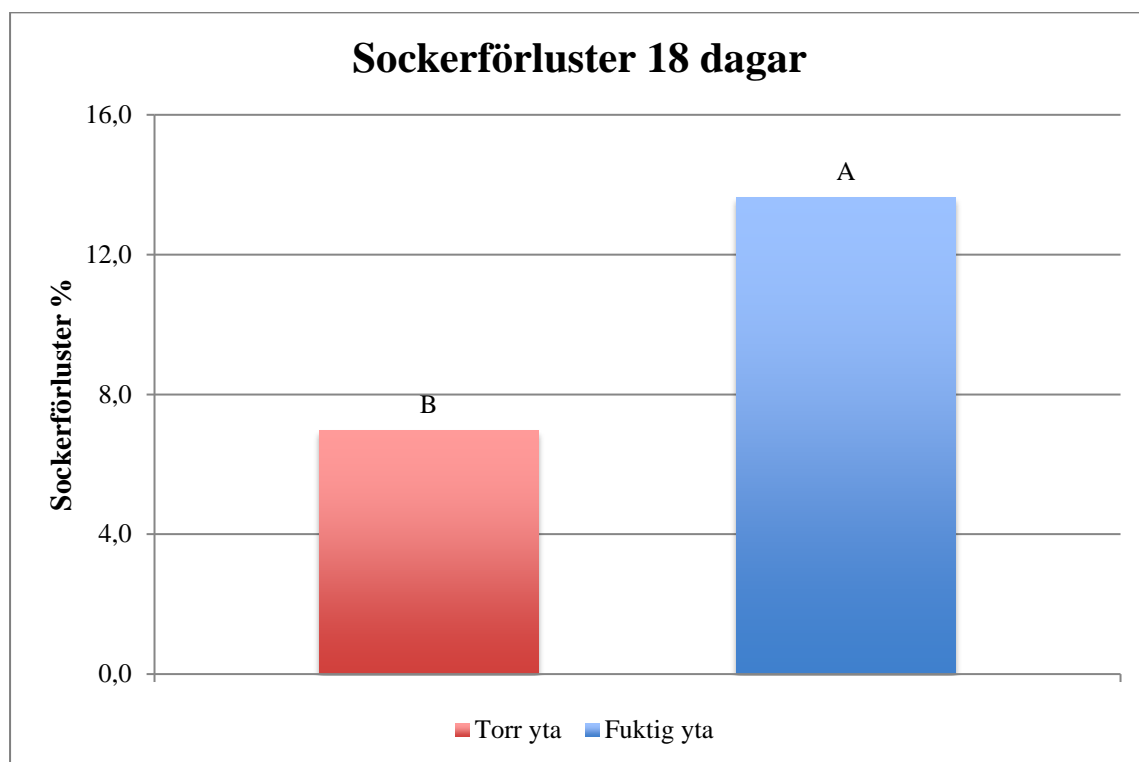
Slutförvaring

Efter omgångarnas behandling flyttades betorna tillbaka in i förvaringskammaren som höll +8°C. Omgång 1C lagrades här utan frysning för att kunna bedöma den förändring som skedde vid 18 dagars lagring i +8°C. Härifrån skickades betorna till Agri provtvätt för analys.

RESULTAT

Ytfuktens inverkan

Resultaten visar att en sockerbeta som har en fuktig yta är mer frostkänslig än en torr beta. Sockerförlusten var drygt dubbelt så stor om betan förvarats fuktig under lagringen, se figur 8. Vid en behandling och lagringstemperatur på +8°C hade inte betans ytfukt någon signifikant ($p < 0,001$) inverkan på sockerförlusterna. Någon skillnad går först att påvisa vid -1°C, vilken sedan ökar efter hand som temperaturen sjunker. Vid jämförelse av torra och fuktiga betor som utsattes för -5°C ökade sockerförlusten från 12,7 % till 23 %, se figur 9. Resultaten av försöket visar en 160 % högre halt av invertsocker i de fuktiga betorna jämfört med de torra som utsatts för -3°C och lagrats i 18 dagar. Det gick inte att påvisa någon signifikant skillnad av halten invertsocker mellan torra och fuktiga betor som utsatts för -5°C i försöket. Vid jämförelse av skillnaden i invertsocker hos de torra och fuktiga betorna behandlade i -3°C och förvarade i 35 dagar kunde ingen signifikant skillnad heller påvisas, se tabell 5.



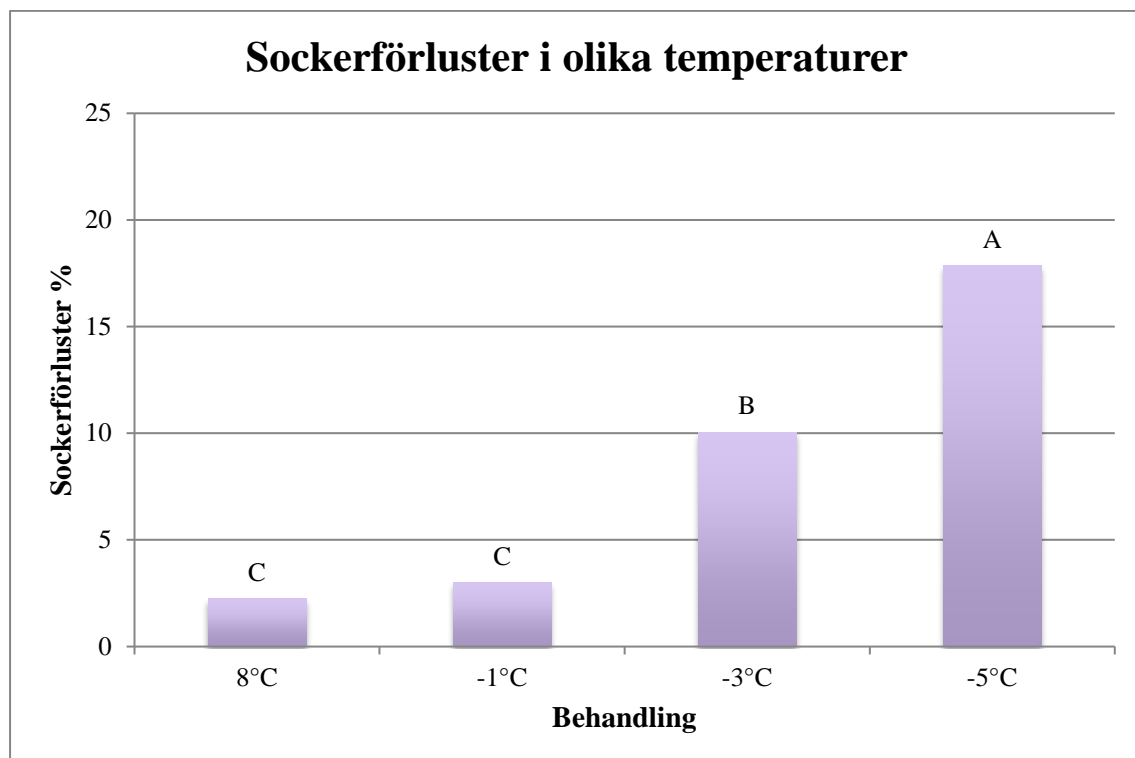
Figur 8. Procentuell sockerförlust som uppstått till följd av att betorna varit torra eller fuktiga under lagringsperioden. Staplarna visar medelvärden av de betor som utsatts för minusgrader och sedan lagrats i +8°C i 18 dagar.

Tabell 5. Resultat från analyser tagna på sockerbruket. Kolumnen med dagar är den tid som gick mellan att sockerbetorna plockades ut ur behandlingskammaren tills att de analyserades. Under denna tid förvarades de i +8°C

[illegible]

Temperaturens inverkan

När temperaturens inverkan på sockerförlusterna studeras visar resultatet att lagringstemperaturer lägre än -1°C har en tydlig inverkan på betans sockerförlust. Ingen signifikant skillnad kunde dock påvisas mellan $+8^{\circ}\text{C}$ och -1°C i försöket, däremot kunde en signifikant skillnad i sockerförlust säkerställas mellan de andra temperaturerna. I figur 10 redovisas sockerförluster uppdelade efter behandlingstemperatur. Efter sammanställning av temperaturens inverkan på halten av invertsocker gick det inte att påvisa någon signifikant skillnad mellan de betor som behandlats i $+8^{\circ}\text{C}$ respektive -1°C . Inte heller mellan de som behandlats i -3°C och de som behandlats i -5°C , se tabell 5.

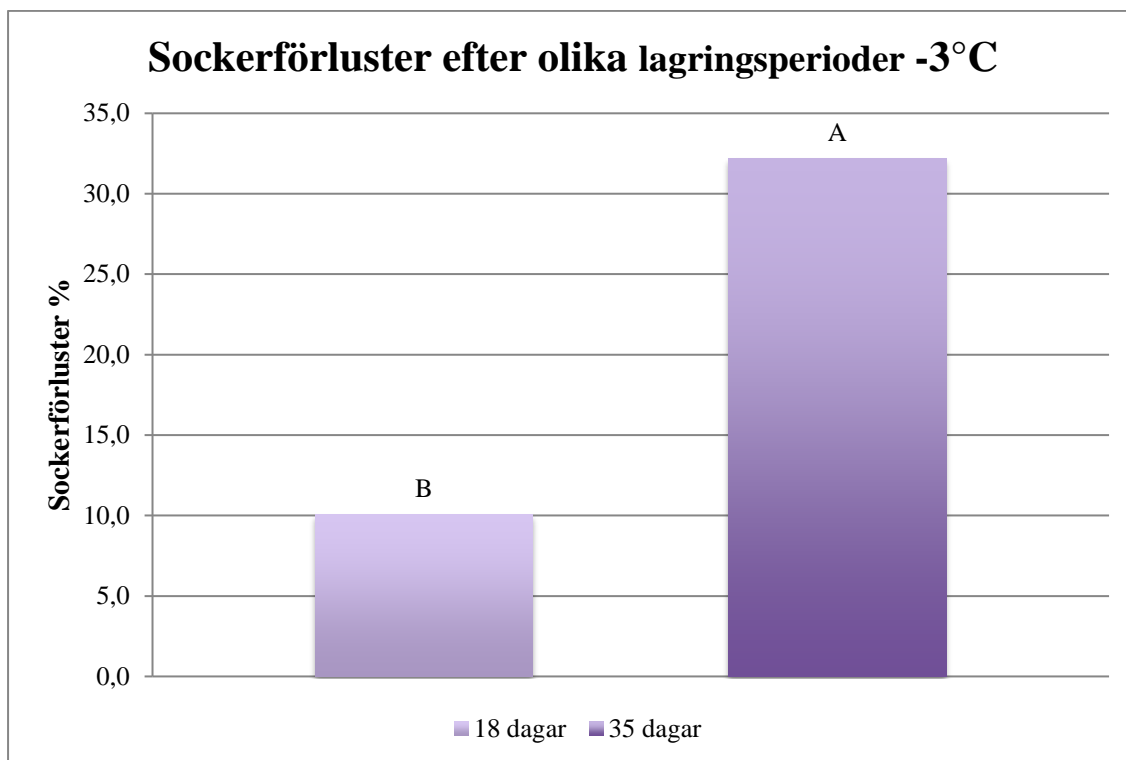


Figur 10. Sockerförlusten i procent som uppstått vid behandling i olika temperaturer. Staplarna visar medelvärden av torra och fuktiga betor. Alla led är lagrade i $+8^{\circ}\text{C}$ i 18 dagar efter köldbehandlingen.

Lagringstiden påverkar

De sockerbetor som utsatts för -3°C och sedan lagrats i 35 dagar förlorade betydligt mer socker än de betor som fått samma behandling och lagrats i 18 dagar. I figur 11 är torra och fuktiga betor sammanslagna till ett medeltal och redovisas utifrån olika lagringsperioder. Den längre lagringsperioden orsakar här 22 % -enheter högre lagringsförlust.

Jämförs de torra och de fuktiga betorna som köldbearbejds vid -3°C och sedan lagrats i 35 dagar är resultaten något förvånande. I motsats till 18 dagars lagring visar analysen en signifikant ökad sockerförlust i de betor som varit torra jämfört med de som varit fuktiga under lagringsperioden. Halterna av invertsocker i den omgång som lagrats i 35 dagar efter behandling är signifikant skilda från samtliga andra omgångar. I jämförelse med samma temperatur och lagring i 18 dagar var halten invertsocker dryga fyra gånger högre i de sockerbetor som lagrats den längre perioden.

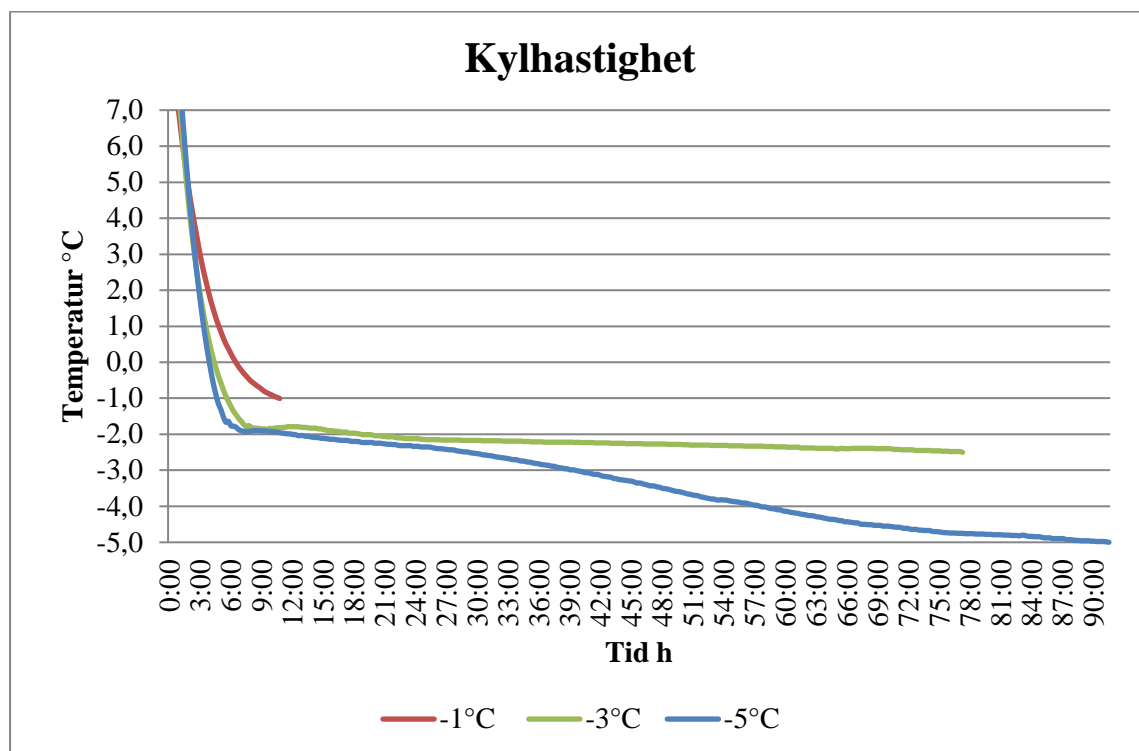


Figur 11. Sockerförlust (%) som uppstått vid samma behandlingstemperatur men med olika lång lagringsperiod i $+8^{\circ}\text{C}$. Staplarna visar medeltalet av fuktiga och torra betor.

Kylhastighet

Resultatet visar att temperaturen inverkar stort på den tid det tar att frysa sockerbeter. Det tar knappt halva tiden att frysa en beta ned till $-2,5^{\circ}\text{C}$ om den utsätts för -5°C jämfört med -3°C . Redan efter 7 timmar är temperaturen i mitten av betan nedkyld till $-1,8^{\circ}\text{C}$, oberoende av om lufttemperaturen är -3°C eller -5°C . När 24 timmar passerat är inte skillnaden större än $0,2^{\circ}\text{C}$ och efter det avviker temperaturerna, se figur 12. Ingen skillnad i fryshastighet har kunnat påvisas mellan torra och fuktiga sockerbeter i försöket.

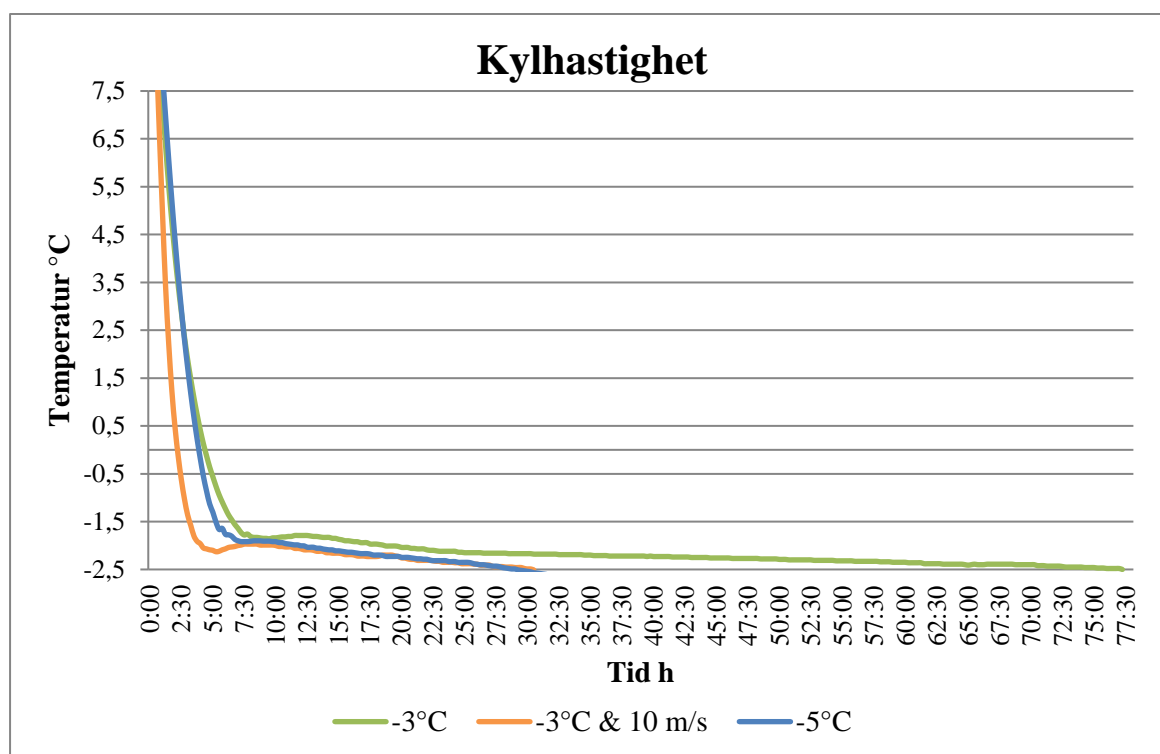
Resultatet visar även att vinden har stor inverkan på den tid det tar att frysa en sockerbeta. I detta försök jämfördes lufttemperaturen -3°C med och utan vind, se tabell 6. Försöket visar att om vindfaktorn adderas fryser sockerbetan nästan dubbelt så fort. Värt att notera är den avvikelse i kurvan som visar att temperaturen i betan ökar i några timmar innan den börjar sjunka nedåt igen. Det gäller både med och utan vind i försöken -3°C , se figur 13.



Figur 12. Diagrammet visar den tid det tar för betan att bli genomfusen. Temperaturen är mätt i mitten av betan och är medeltemperaturen för tre stycken sockerbeter.

Tabell 6. Sammanställning av den tid det tog att frysa torra sockerbeter ner till -1,5°C och -2,5°C

Behandling	Vind	Temp i betan	Antal timmar och minuter
-3°C	-	-1,5°C	6:45
-3°C	3 m/s	-1,5°C	3:30
-3°C	10 m/s	-1,5°C	3:15
-3°C	-	-2,5°C	77:15
-3°C	3 m/s	-2,5°C	50:15
-3°C	10 m/s	-2,5°C	30:30
-5°C	-	-1,5°C	5:15
-5°C	-	-2,5°C	29:15



Figur 13. Skillnaden i den tid det tar att frysa torra betor och hur hastigheten påverkas när vind adderas.

DISKUSSION

Olika faktorer

Betans ytfukt

Det utförda försöket visar att betans ytfukt har stor betydelse för lagringsdugligheten under kalla förhållanden. Torra betor förlorar mindre socker och är i högre grad leveransdugliga jämfört med fuktiga betor efter en frostperiod. Att lagra sockerbetor under torra betingelser är därför av yttersta vikt. Detta är sannolikt en av orsakerna till att Toptex® tidigare visat sig vara ett bra täckningsmaterial. Tidigare studier där man studerat lagringsförluster under praktiska betingelser i stuka har visat att Toptex® inte ger en betydande temperaturhöjning i stukan. Den hindrar inte heller kylan från att tränga in (Olsson 2014). Detta talar för att det är förmågan hos Toptex® att hålla fukten ute som skapat skillnaden. Genom att granska resultaten från studien *”Lagring av sockerbetor – möjligheter och begränsningar för fem koncept av vatten och frostskydd”* går det att dra paralleller till mina resultat. I studien av täckning med Toptex® respektive otäckt stuka var endast en liten del av den otäckta delen leveransduglig. Den del av stukan som skyddats med Toptex® hade högre sockerinhåll och var i högre grad leveransduglig. Skillnaden i temperatur var marginell mellan de två leden, alltså var det sannolikt fukten som skiljde dem åt.

Däremot gav min studie ingen signifikant skillnad mellan torra och fuktiga betor om de inte utsatts för frost. Tidigare studier har dock visat att betor som lagrats under fuktiga förhållanden i ca 700 daggrader förlorar mer socker än torra betor, även om de inte utsatts för frost (Olsson 2011). De ofrysta betorna i min studie lagrades i 144 daggrader (+8°C & 18 dagar), det är då sannolikt att skillnaderna inte hunnit framträda. Det tar alltså troligtvis längre tid att framhäva skillnader mellan torra och fuktiga betor om de inte utsatts för frost. Normalt sett uppgår antalet daggrader i en stuka i Sverige till 250-300. Det är alltså troligt att Toptex® inte bidrar till minskade lagringsförluster under frostfria förhållanden i Sverige då temperaturen ofta är måttlig och lagringstiden är begränsad. Fördelarna med ökad renhet när Toptex® läggs på kvarstår dock eftersom fukt inte följer med jord in till bruket.

Lagringsperioden

Försöket visar även att det finns stora skillnader i lagringsförluster kopplade till hur länge betorna lagras efter frostperioden. I omgång 1A och 1B syns stora skillnader i sockerförlust till följd av olika lång lagringstid. Sockerförlusten var ca 22 % -enheter högre i de betor som lagrats den längre tiden. Det visar att sockerförlusterna ökar kraftigt vid längre lagringstid. Efter lagring i 300 daggrader ökar sockerförlusten i snabbare takt på grund av bakterier och svampar (Olsson 2011). Det resultatet påvisades i ett försök där betorna inte var frusna. Sannolikt är då att sockerförlusten i mitt försök börjar stiga tidigare till följd av frostsador som utöver en ökad respiration ger en snabb tillväxt av bakterier och svamp.

Vindens påverkan

Anmärkningsvärt för den tid det tar att frysa betor är att vinden påverkar kyleffekten i mycket hög grad. Vid -3°C och en vindstyrka på 10 m/s är betan genomfrusen till -2°C redan efter 5 timmar. Vid -2°C sprängs cellväggarna i betan och detta anses vara den kritiska gränsen för den kyla en sockerbeta tål (Draycott 2006). Det är alltså då en frostska uppstår. Värt att notera är dock att de fuktiga betorna som utsattes för -1°C hade en signifikant högre sockerförlust jämfört med de torra betorna vid samma temperatur. Alltså skiljer sig den temperaturen när en beta frostskaas till följd av hur fuktigt den lagras efteråt. Denna skillnad är värd att ha i åtanke om det varnas för mild frost som kommer följas av en regnperiod. Alltså bör betorna täckas för att i första hand skydda mot regnet, för -1°C klarar betorna om de är torra.

Frysprocessen i betorna i min studie visar att temperaturen i betorna stiger en kort stund innan den vänder nedåt igen. Detta anses vara ett fysikaliskt fenomen som kallas den latent smältvärmen. När vatten övergår från flytande till fast form frigörs en mindre mängd energi. Under en kort period gör denna energi att temperaturen stiger marginellt och sedan långsamt går ner i samband med att vattnet i sockerlösningen fryser till is. Beroende på graden av kylning, och i vilken grad den frigjorda energin hålls kvar, är det en rimlig förklaring till de temperaturkurvor som syns kring $-1,7^{\circ}\text{C}$ till $-2,1^{\circ}\text{C}$ i figur 13 (Maarten 2016). Tack vare sockerinnehållet i betan uppstår en sänkning av fryspunkten, högre sockerhalt ger en lägre fryspunkt (kan liknas vid den effekt glykol har på vatten). Betorna hade ca 18 % sockerhalt när de placerades i kammaren. Vid 18 % sockerinnehåll ligger sockerlösningens fryspunkt på $-1,3^{\circ}\text{C}$, se bilaga 1. För att bildandet av iskristaller i betan ska starta krävs att temperaturen är $0,5^{\circ}\text{C}$ lägre än fryspunkten. Den temperatur som ligger till grund för att iskristaller börjar bildas i betan är således $-1,8^{\circ}\text{C}$. Detta tycks sammanträffa med de avvikande kurvorna som syns i detta temperaturområde.

Individuella skillnader

Något som är intressant och förvånande är de stora individuella skillnader som förekommer mellan olika betor. Figur 14 visar två betor som utsatts för samma behandling och som legat i samma låda. Som synes är den högra betan förstörd i den grad att den inte längre är leveransgill. Den vänstra betan tycks till ytan vara i stort sett oskadad, endast en tendens till skada syns vid rotspetsen. Dessa betor kommer från behandlingen -3°C som lagrats i 144 daggrader, de förvarades fuktigt. Tydliga exempel finns även från -5°C som lagrats i 144 daggrader, de förvarades torrt, se figur 15. På denna bild har den vänstra betan större rotspetsbrott och är lägre nackad än den vänstra, trots det är den inte lika dålig som den högra betan. Däremot syns symptom av frostska på den vänstra betan i form av brunaktiga fläckar. Framtida försök får avgöra om det handlar om näringsbrist, svamp, bakterier, mekaniska skador, genetiska faktorer eller en kombination av dessa.



Figur 14. Individuella skillnader på sockerbeter behandlade i -3°C och sedan lagrade i $+8^{\circ}\text{C}$ i 18 dagar under fuktiga förhållanden. Foto: Johan Skyggeson.



Figur 15. Individuella skillnader på sockerbeter behandlade i -5°C och sedan lagrade i $+8^{\circ}\text{C}$ i 18 dagar under torra förhållanden. Foto: Johan Skyggeson.

Resultatens tillförlitlighet

Resultaten från studien anses vara tillförlitliga eftersom fyra upprepningar är gjorda och att ca 110 kg betor har fått samma behandling. Lådorna hade en jämn ingångsvikt vilket tyder på att betorna i omgångarna var lika stora. Därmed reduceras osäkerheten i försöket till följd av betornas storlek. Teoretiskt sett har en stor beta 10 % lägre sockerförluster än en liten. Det beror på att den stora betan har mindre yta i förhållande till dess totala volym (Huijbregts 2008). Skillnaden mellan små och stora betor kan vara än större när de lagras i en stuka. Förklaringen till den teorin är att de stora sockerbetorna skapar större mellanrum när de lagras vilket ger en bättre ventilation som torkar upp stukan (Tabil et al. 2003). Vagnarna med torra och fuktiga betor har varit placerade om varandra för att ett eventuellt mikroklimat i Biotronens klimatkammare inte ska påverka resultatet mellan fuktiga och torra sockerbetor. Tillvägagångssättet i praktiskt arbete, provtagning och analys av siffror är gjorda och godkända efter den metod som NBR tillämpar i sina lagringsförsök.

Försök handlar om kostnader och att de ska vara praktiskt genomförbara. På grund av begränsat utrymme i klimatkamrarna begränsas även omgångarnas storlek. De omgångar som ska behandlas i samma temperatur måste stå inne samtidigt och i samma kammare för att minimera risken för fel. Skulle kammaren t.ex. haverera under försöket har betorna trots allt utsatts för samma antal daggrader och insamlad data bör gå att jämföra med tillräcklig tillförlitlighet.

Metoden att jämföra betors sockerförluster under kontrollerade former har både för- och nackdelar. Fördelen med att förvara betorna under kontrollerade former är att till skillnad från försök i stuka går alla faktorer att styra. Vill man utreda olika täckningsmetoder och material är inte klimatkammare möjligt på grund av begränsat utrymme. En ändring som skulle kunna göras när projektet fortsätter är att ställa in klimatkammaren på att höja temperaturen succesivt under dagen och sedan sänka den på natten. Det skulle efterlikna ett utomhusklimat och ge en bild av hur fort temperaturen tränger in i betan under normal lagring. Kurvan i figur 13 visar på att de betor som utsattes för -3°C utan vind planar ut ordentligt och når $-2,5^{\circ}\text{C}$ först efter dryga 77 timmar. I verkligheten stämmer troligen inte detta eftersom temperaturen inte är konstant i 77 timmar. Med största sannolikhet kommer en påtagligt fluktuerande kurva för samtliga temperaturer att synas om temperaturen justeras upp dagtid.

Framtida studier

Viktigt att undersöka framöver är de fuktiga betor som utsatts för -1°C . Det påvisades en signifikant ökad sockerförlust i de fuktiga betorna jämfört med de torra. I denna studie är de betorna lagrade i 144 daggrader. Frågan är då vad som händer om de lagras i 200 daggrader och 300 daggrader. Kommer de fuktiga betornas sockerförlust att öka drastiskt samtidigt som de torra betorna ligger kvar på en lägre och stabil nivå?

Än viktigare är studier kring vad som orsakar de individuella skillnaderna hos sockerbeter som påvisats i mitt resultat. Det går att spekulera som tidigare nämnts om; näringsbrist, svamp, bakterier, mekaniska skador, genetiska faktorer eller en kombination av dessa. Dessa individuella skillnader skulle vara intressant att fastställa orsaken till för att i framtiden kunna tillämpa resultatet i sockerbetsförädling. Framtida kunskap i frågan skulle kunna bidra till att genom sortval minska sockerförlusterna vid långtidslagring av sockerbeter.

SLUTSATSER

I examensarbetet kan följande slutsatser konstateras till följd av försöksresultat och litteraturstudie.

- Ytfukten på betan har en signifikant inverkan på sockerförlusten vid minusgrader. Försöket visar att fuktiga betor som utsatts för frost förlorar betydligt mer socker jämfört med torra betor.
- Lagringstiden påverkar sockerförlusten signifikant.
- Vinden ger en dubbel fryseffekt.
- Stora individuella skillnader mellan sockerbeter som fått samma behandling har kunnat konstateras.
- Resultaten förklarar de studier som tidigare visat på att Toptex® minskar lagringsförlusterna. Skillnaden är inte i första hand frotskydd utan dess förmåga att hålla ute fukt och tillåta stukan att andas.
- Det är ytterst viktigt att behandla betorna försiktigt för att undvika skador på dem vid upptagning, lagring och leverans. Alla skador ökar sockerförlusten.

REFERENSER

Skriftliga

Augustinussen, E. and E. Smed (1990). "Quality of sugar beet after frost and thawing during the storage period." Tidsskrift for Planteavl (Denmark).

Draycott, A. P. (2006). Sugar Beet, Wiley.

Ebelin, A. (2000). Lagring och frostskydd av betor i stora betupplag 1998-2000. Bjärred, Danisco Sugar.

Huijbregts, A.W.M. (2009) Bewaring. Vorstbescherming en bewaring. Annual report 2008, IRS, 35-39.

Huijbregts, T. (2008). "Sugar beet storage-an overview of Dutch research." International sugar journal **110**(1318).

Huijbregts, T., et al. (2013). Long-term storage of sugar beet in North-West Europe, COBRI.

Ibrahim, L., et al. (2001). "An investigation of wound healing in sugar beet roots using light and fluorescence microscopy." Annals of Botany **88**(2): 313-320.

Ingelsson, T. (2002). Rensningsgradens påverkan på lagringsförlusterna vid långtidslagring 2002, Sockernäringens BetodlingsUtveckling.

Jaggard, K., et al. (1997). "Changes in the weight and quality of sugarbeet (*Beta vulgaris*) roots in storage clamps on farms." The Journal of Agricultural Science **129**(03): 287-301.

Olsson, R. (2009). Optimerad upptagningstidpunkt vid sen leverans 2006-2009. Bjärred, Nordic Beet Research foundation.

Olsson, R. (2010). Möjligheter för kostnadseffektiv lagring med låga förluster och liten arbetsinsats i storbalsomgärdade lager med behovsanpassad topptäckning. Bjärred, Nordic Beet Research foundation.

Olsson, R. (2011). Möjligheter för "mer betor med mer socker till bruket" genom rätt sortval 2010-2011. Bjärred, Nordic Beet Research foundation.

Olsson, R. (2014). Lagring av sockerbetor - Möjligheter och begränsningar för fem koncept av vatten och frostskydd. Betodlaren. Bjärred, Nordic Beet Research foundation.

Olsson, Å. (2008). Strategier för sort och platsval upptagning och lagring vid sen leverans av sockerbetor 2007–2009. Bjärred, Nordic Beet Research foundation.

Pavlinova, O., et al. (1979). "Utilization of sucrose in sugarbeet roots during the storage period and the second year of vegetation." Soviet Plant Physiology.

Rydén, A. (2008). Optimerad lagringstidpunkt vid sen leverans. Bjärred, Sockernäringsens BetodlingsUtveckling.

Steensen, J. K. and E. Augustinussen (2003). "Effect of rubber flail topping and scalping versus non-scalping on yield, internal quality, and storage losses in sugarbeet." Zuckerindustrie **128**(2): 100-105.

Tabil, L. G., et al. (2003). "Airflow resistance of sugarbeet." Journal of sugar beet research **40**(3): 68.

Wyse, R. and S. Dexter (1971). "Source of recoverable sugar losses in several sugarbeet varieties during storage." Amer Soc Sugar Beet Technol J.

Wyse, R. E. (1973). General postharvest physiology of the sugarbeet root. Postharvest losses of sucrose in sugarbeets. Proceedings of the Beet Sugar Development Foundation Conference on Sugarbeet Storage.

Muntliga

Christiansson, O. (2016). Nordic Sugar Agricenter Sverige. Chef.
Pers. medd. 5 maj 2016

Ekelöf, J. (2016). Nordic Beet Research Foundation, Borgeby. Ph.D. Project manager.
Pers. medd. 15 mars 2016

Maarten, J. (2016). Coordination Sugar R&D activities Südzucker Group.
Pers. medd. 4 maj 2016

Nilsson, G. (2015) . LTV – Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgård- och växtproduktionsvetenskap. Odlingseenheten. Biotronen.
Pers. medd. 14 mars 2016

Internet

Onset, (2016)
<http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u23-003>
Tillgänglig [2016-03-14]

Publiceringstillstånd

Figur 1.

Joakim Ekelöf.
Ph.D. Project manager.
Nordic Beet Research Foundation, Borgeby
Pers. medd. 23 maj 2016

Figur 3.

Robert Olsson.
M.Sc. Senior Project Manager.
Nordic Beet Research Foundation, Borgeby.
Pers. medd. 24 maj 2016

Tabell 3.

Robert Olsson.
M.Sc. Senior Project Manager.
Nordic Beet Research Foundation, Borgeby.
Pers. medd. 24 maj 2016

BILAGA 1

322/16: Freezing point depression Δt_f of pure sucrose solutions in K
[24, 45, 46]

Sucrose content w_s in %	Freezing point depression Δt_f in K	Sucrose content w_s in %	Freezing point depression Δt_f in K	Sucrose content w_s in %	Freezing point depression Δt_f in K
1	0.05	16	1.12	42	5.07
2	0.11	17	1.21	44	5.62
3	0.17	18	1.30	46	6.22
4	0.23	19	1.40	48	6.88
5	0.29	20	1.49	50	7.61
6	0.35	22	1.70	52	8.40
7	0.42	24	1.92	54	9.28
8	0.49	26	2.16	56	10.24
9	0.56	28	2.42	58	11.30
10	0.63	30	2.71	60	12.45
11	0.71	32	3.02	62	13.71
12	0.79	34	3.35	64	15.09
13	0.87	36	3.72	66	16.58
14	0.95	38	4.13	68	18.21
15	1.03	40	4.58	70	19.97

Tabellen visar vid vilken temperatur (°C) sockerlösningen i betan fryser till is.